

REC'D EPO 29 NOV 2003

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

29.10.2003

Po(EPO) 11090



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen: 102 48 735.9
Anmeldetag: 18. Oktober 2002
Anmelder/Inhaber: LITEF GmbH,
Freiburg im Breisgau/DE
Bezeichnung: Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines
Corioliskreisels
IPC: G 01 C, G 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Wehner

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 53.974

Mü/My/rs

Anmelderzeichen: LTF-192-DE

18.10.2002

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18
D-79115 Freiburg

**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

Beschreibung

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung bei einem Corioliskreisel.
- 5 Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/ gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.
- 15
- 20
- 25

- Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Be-

1 zeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen. Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Resonatoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden. Sowohl der erste als auch der
5 zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

10 Der Corioliskreisel 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfrequenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes Tiefpassfilter
15 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.
20

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadraturregler 17 und einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält einen vierten Demodulator 19, ein vierthes Tiefpassfilter 20, einen Drehratenregler 21 und einen dritten Modulator 22.

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten Demodulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungsschwingungs-Abgriffsignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlägt
30 einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits ei-
35

- 1 nen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben
5 werden.

Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum

- 10 dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

- 15 Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

- 35 Ein Corioliskreisel 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisel 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppel-

- 1 resonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal
- 5 des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.
- 10 Wenn der Corioliskreisel 1 doppelresonant betrieben werden soll, muss – wie erwähnt – die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt werden. Dies kann beispielsweise auf mechanischem Wege erfolgen, in dem Material am Massensystem (dem Resonator 2) abgetragen wird. Alternativ hierzu kann die Frequenz der Ausleseschwingung auch mittels
- 15 eines elektrischen Feldes, in dem der Resonator 2 schwingbar gelagert ist, also durch Änderung der elektrischen Feldstärke, eingestellt werden. Damit ist es möglich, auch während des Betriebs des Corioliskreisels 1 eine elektronische Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung durchzuführen.
- 20 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem in einem Corioliskreisel die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung elektronisch abgestimmt werden kann.
- Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 6 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.
- 30 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störan teil enthält, wobei die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das
- 35

- 1 Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird hierbei so geregelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils, d.h. der Rauschanteil, möglichst klein wird.
- 5 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels. Wesentlich hierbei ist, dass die Störkräfte auf den Resonator lediglich die Ausleseschwingung, nicht jedoch die Anregungsschwingung ändern. Unter Bezugnahme auf Fig. 2 würde dies bedeuten, dass
- 10 die Störkräfte nur den zweiten Resonator 4 beaufschlagen, nicht jedoch den ersten Resonator 3.

● Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass ein Störsignal in Form von Signalrauschen, das direkt im Ausleseschwingungs-Abgriffs-
15 signal bzw. am Eingang der Regelkreise (Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis) auftritt, nach "Durchgang" durch die Regelkreise und den Resonator umso stärker im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal beobachtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Das Signalrauschen, das das Signalrauschen der Ausles-
20 schwingungs-Abgriffselektronik bzw. der random walk des Corioliskreisels ist, beaufschlagt nach "Durchlauf" durch die Regelkreise die Kraftgeber und erzeugt somit entsprechende Störkräfte, die den Resonator beaufschlagen und damit eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung hervorrufen. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal enthaltenen Störanteils, d.h. des Rauschanteils, minimal wird, so ist
30 damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung abgestimmt.

Wie bereits erwähnt, ist das Störsignal durch niederfrequentes Drehratenrauschen des Ausleseschwingungs-Abgriffssignals bzw. der random walk des aufgedrehten Drehratenwinkels gegeben. Das Störsignal wird also nicht künstlich erzeugt, sondern bereits vorhandene Störsignale (Rauschen der Ausleseschwingungs-Abgriffselektronik) genutzt. Es lässt sich zeigen, dass niederfrequentes

- 1 Drehratenrauschen/der random walk des aufintegrierten Winkels bei Corioliskreiseln die doppelresonant betrieben werden, (also bei Übereinstimmung der Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung), um Größenordnungen geringer als bei nicht doppelresonanten Corioliskreiseln ist. Eine ge-
5 naue Analyse zeigt, dass der Reduktionsfaktor nach einer von der Güte der Aus-leseschwingung abhängigen Mindestzeit der halbe Wert der Güte dieser Schwin-gung ist.

Vorteilhaft ist, dass die Störung durch das Eigenrauschen des Corioliskreisels

- 10 selbst gegeben ist, also keine künstlichen Störungen/Moulationen benötigt wer-den. Ein weiterer Vorteil ist, dass während der Frequenzabstimmung zwischen Anregungs- und Ausleseschwingung gleichzeitig der random walk des Corioliskreisels gemessen werden kann.

- 15 Vorteilhafterweise wird hierbei der Durchgang der Störung durch den Quadra-turregelkreis beobachtet, da in diesem im Gegensatz zum Drehratenregelkreis kein niederfrequentes Rauschen aufgrund der Variation der Drehgeschwindig-keit auftritt. Nachteilig ist jedoch, dass bei Benutzung des Quadraturregelkrei-ses der Abstimmungsprozess der Frequenz der Anregungsschwingung auf die
20 Frequenz der Ausleseschwingung relativ lange dauert. Der Störanteil (Rauschan-teil) wird also vorzugsweise aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadratur-regler des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Al-ternativ kann der Störanteil aus einem Signal ermittelt werden, das an einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben
25 wird.

- Die Frequenzregelung der Ausleseschwingung, d.h. die Kraftübertragung der zur Frequenzregelung nötigen Regelkräfte erfolgt hierbei durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds, in dem ein Teil des Resonators schwingt, wobei eine
30 elektrische Anziehungskraft zwischen dem Resonator und einem den Resonator umgebenden rahmenfesten Gegenstück vorzugsweise nichtlinear ist.

- Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisel bereit, der gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der
35 Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung. Die Einrich-tung zum elektronischen Abstimmen weist hierbei auf:

1 eine Rauschdetektiereinheit, die den Rauschanteil eines Auslesesignals, das die Ausleseschwingung repräsentiert, ermittelt, und eine Regeleinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Rauschanteils möglichst klein wird.

5 Vorzugsweise ermittelt die Rauschdetektiereinheit den Rauschanteil aus einem Signal, das an einem Quadraturregler eines Quadraturregelkreises des Corioliskreisels anliegt oder von diesem ausgegeben wird. Eine weitere Alternative ist, den Rauschanteil aus einem Signal zu ermitteln, das an einem Drehratenregler 10 eines Drehratenregelkreises des Corioliskreisels anliegt oder von diesem ausgegeben wird. In einer weiteren Alternative ermittelt die Rauschdetektiereinheit den Rauschanteil aus einem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal, das durch einen Ausleseschwingungsabgriff erzeugt wird. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet alle in diesem Abschnitt angeführten Signale.

15 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

20 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

Figur 2 den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels.

5 Zunächst wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Dabei sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht nochmals erläutert.

Ein Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Rauschdetektiereinheit 26 und ei-
30 nem Ausleseschwingungs-Frequenzregler 27 versehen.

Das Signalrauschen (Eigenrauschen) der Ausleseschwingungs-Abriffselektronik (hier durch Bezugszeichen 6 angedeutet) erzeugt ein Störsignal im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal), das den beiden Regelkreisen (Quadraturregelkreis/Drehratenregelkreis) zugeführt wird. Nach Durchgang durch die Regelkreise beaufschlagt das Störsignal einen zweiten und dritten Modulator 35 18, 22, deren entsprechende Ausgabesignale jeweils einen Kraftgeber (nicht ge-

- 1 zeigt) und damit den Resonator 2 beaufschlagen. Sofern die Frequenz der Ausleseschwingung nicht im Wesentlichen mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt, wird das Störsignal nach "Durchgang" durch den Resonator 2 in Form eines Störanteils des Ausleseschwingungs-Abgriffssignals beobachtet. Das Störsignal (Eigenrauschen) wird nun durch die Rauschdetektiereinheit 26 ermittelt, indem das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal bzw. eines der Signale, die an dem Quadraturregler 17/Drehratenregler 21 anliegen oder von diesen ausgegeben werden (hier: Signal, das am Quadraturregler 17 anlegt), abgegriffen wird und der Rauschanteil extrahiert wird. Somit ist der Störanteil ermittelt.
- 10 Ein Ausgangssignal der Rauschdetektiereinheit 26 wird dem Ausleseschwingungs-Frequenzregler 27 zugeführt, der in Abhängigkeit davon die Frequenz der Ausleseschwingung so einstellt, dass das Ausgangssignal der Rauschdetektiereinheit 26, d.h. die Stärke des beobachteten Störanteils, minimal wird. Ist ein derartiges Minimum erreicht, so stimmen die Frequenzen von Anregungsschwingung und Ausleseschwingung im Wesentlichen überein.

Bei einem zweiten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenden Störanteils möglichst klein wird.

Eine dem zweiten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine künstliche Änderung der Ausleseschwingung im Drehraten- oder Quadraturkanal um so stärker insbesondere im jeweils dazu orthogonalen Kanal sichtbar ist, je weniger die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung übereinstimmt. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (insbesondere auf den orthogonalen Kanal) ist also ein Maß dafür, wie genau die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung überestimmt. Wenn man also die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Durchschlagsstärke ein Minimum annimmt, d.h. dass die Größe des in dem Ausleseschwingungs-Abgriffssignal enthaltenen Störanteils minimal wird, so ist

- 1 damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Bei einem dritten alternativen Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel wird der Resonator des Corioliskreisels mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass eine Phasenverschiebung zwischen einem Störsignal, das die Störkraft erzeugt, und dem im Auslesesignal enthaltenen Störanteil möglichst klein wird.

Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem (oder ein Teil davon) des Corioliskreisels verstanden – also der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

Eine dem dritten alternativen Verfahren zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass die "Durchlaufzeit" einer Störung, also einer künstlichen Änderung der Ausleseschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften, durch den Resonator, d. h. die Zeit, die ab dem Wirken der Störung am Resonator bis zum Abgriff der Störung als Teil des Auslesesignals verstreicht, von der Frequenz der Ausleseschwingung abhängt. Damit ist die Verschiebung zwischen der Phase des Störsignals und der Phase des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteilsignals ein Maß für die Frequenz der Ausleseschwingung. Es lässt sich zeigen, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, wenn die Frequenz der Ausleseschwingung mit der Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen übereinstimmt. Wenn man daher die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Phasenverschiebung ein Minimum annimmt, so ist damit gleichzeitig die Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung im Wesentlichen abgestimmt.

Das zuerst beschriebene erfindungsgemäße Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz kann mit dem zweiten alternativen Verfahren und/oder dem dritten alternativen Verfahren beliebig kombiniert werden. Beispielsweise ist es möglich, bei Inbetriebnahme des Corioliskreisels das zweite alternative Verfahren anzuwenden (schnelles Einschwingverhalten), und

- 1 anschließend das zuerst beschriebene Verfahren (langsamer Regelprozess) im eingeschwungenen Betrieb anzuwenden. Konkrete technische Ausgestaltungen sowie weitere Details zu den Verfahren kann der Fachmann den Patentanmeldungen "Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels", LTF-190-DE und LTF-191-DE desselben Anmelders entnehmen, in denen jeweils das zweite alternative Verfahren bzw. das dritte alternative Verfahren beschrieben sind. Der gesamte Inhalt der Patentanmeldungen LTF-190-DE/LTF-191-DE sei hiermit in die Beschreibung mit aufgenommen.
- 5

10

15

20

5

30

35

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem rückstellenden Corioliskreisel (1'), wobei
 - der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beanschlagt wird, dass
 - a) die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, und
 - b) die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält, wobei
 - die Störkraft definiert ist als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird, und
 - die Frequenz der Ausleseschwingung so geregelt wird, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils möglichst klein wird.
- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Signalrauschen das Rauschen der Abgriffselektronik ist.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Quadraturregler (17) des Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Störanteil aus einem Signal ermittelt wird, das an einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenzregelung der Ausleseschwingung durch Regelung der Stärke eines elektrischen Felds erfolgt, in dem ein Teil des Resonators (2) des Corioliskreisels (1') schwingt.
- 30 6. Corioliskreisel (1'), gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung, mit:
 - einer Rauschdetektoreinheit (26), die den Rauschanteil eines Auslesesignals, das die Ausleseschwingung repräsentiert, ermittelt, und

- 1 - einer Regeleinheit (27), die die Frequenz der Ausleseschwingung so regelt, dass die Größe des in dem Auslesesignal enthaltenen Rauschanteils möglichst klein wird.
- 5 7. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rauschdetektiereinheit (26) den Rauschanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Drehratenregler (21) eines Drehratenregelkreises des Corioliskreisels (1') anliegt oder von diesem ausgegeben wird.
- 10 8. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rauschdetektiereinheit (26) den Rauschanteil aus einem Signal ermittelt, das an einem Quadraturregler (21) eines Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') anliegt oder von diesem ausgegeben wird,

15

20

5

30

35

Zusammenfassung**Verfahren zur elektronischen Abstimmung
der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels**

Beim Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Frequenz der Ausleseschwingung auf die Frequenz der Anregungsschwingung in einem Corioliskreisel (1') gemäß der Erfindung wird der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mittels einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung im Wesentlichen unbeeinflusst bleibt, wobei die Ausleseschwingung so geändert wird, dass ein die Ausleseschwingung repräsentierendes Auslesesignal einen entsprechenden Störanteil enthält. Die Störkraft ist hierbei definiert als diejenige Kraft, die durch das Signalrauschen im Auslesesignal hervorgerufen wird. Die Frequenz der Ausleseschwingung wird so geregelt, dass die Stärke des im Auslesesignal enthaltenen Störanteils minimal wird.

(Fig. 1)

Fig. 1

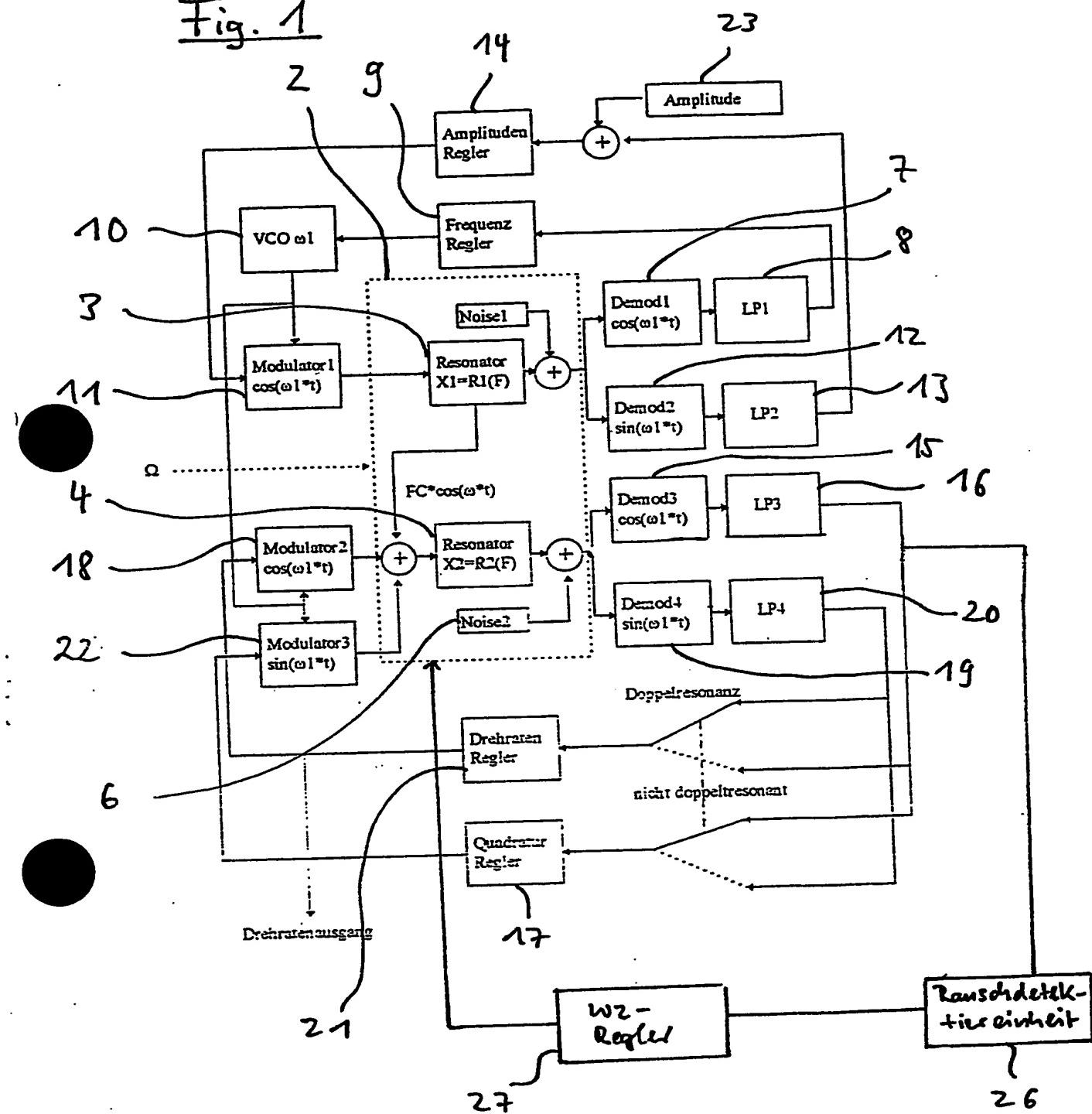
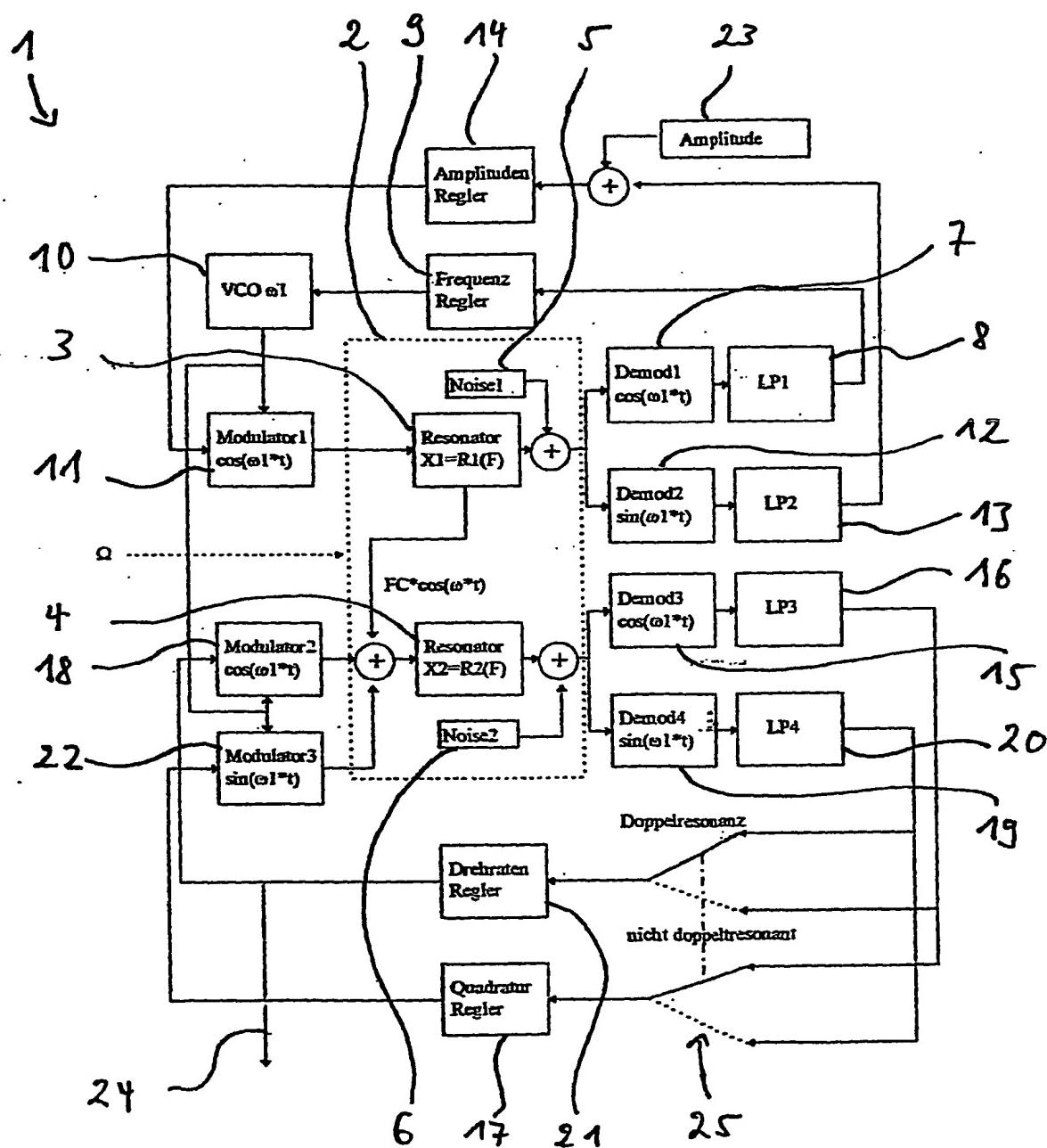
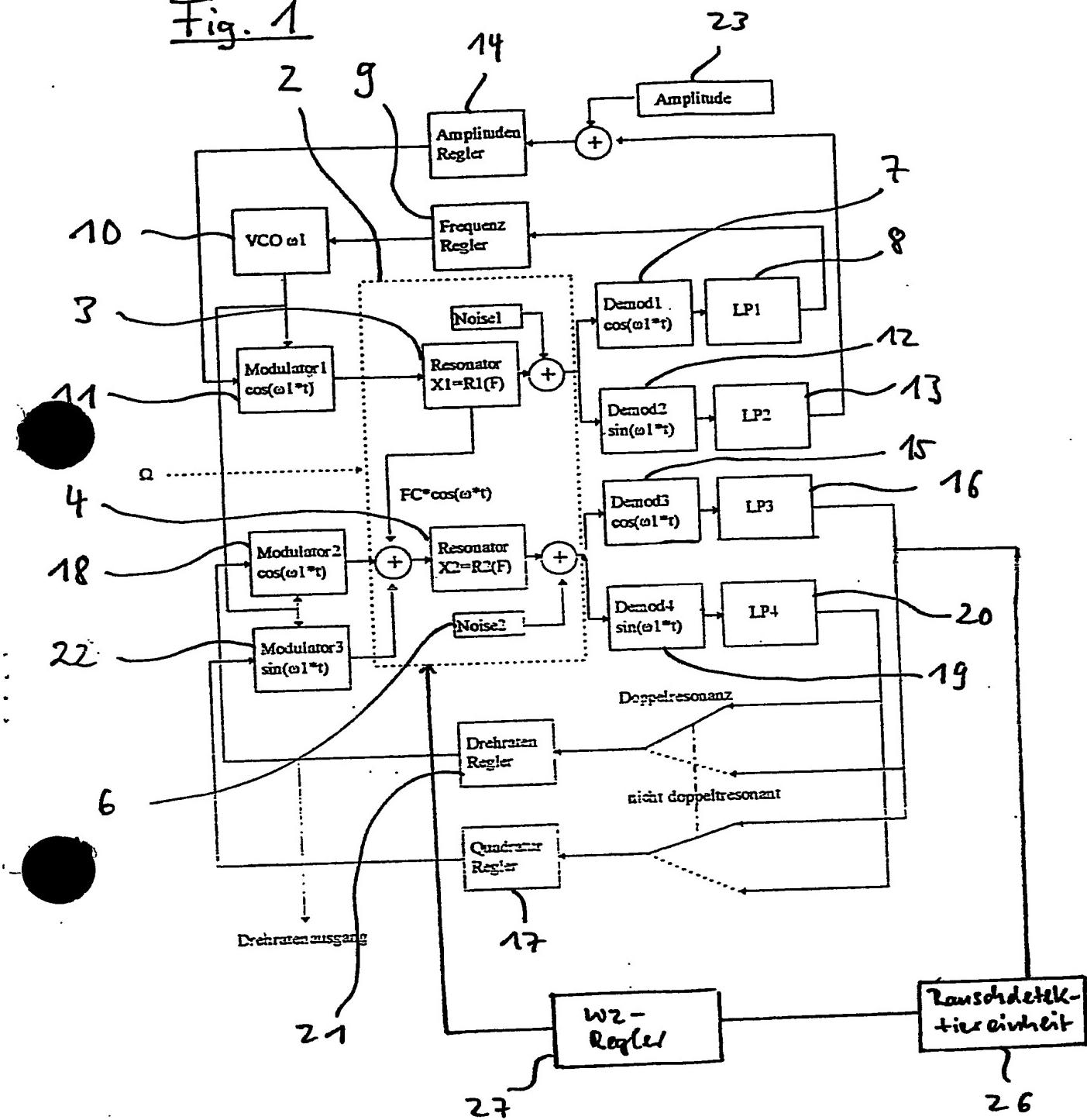


Fig. 2

Figur für die Zusammenfassung

Fig. 1



10/531814

JC12 Rec'd PCT/PTC 18 APR 32005

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER

Attorney File: 56709

Applicant Reference: LTF-192-PCT/US

**LITEF GmbH
Lörracher Str. 18
79115 FREIBURG
GERMANY**

Priority: Germany (DE) October 18, 2002 No. 102 48 735.9

2/05/05 10/531814

JC12 Rec'd PCT/PTC 18 APR 2005

**Method for electronic tuning of the read oscillation
frequency of a Coriolis gyro**

The invention relates to a method for electronic tuning
5 of the frequency of the read oscillation to the
frequency of the stimulation oscillation for a Coriolis
gyro.

Coriolis gyros, (which are also referred to as
10 vibration gyros) are being used to an increasing extent
for navigation purposes; they have a mass system which
is caused to oscillate. This oscillation is generally a
superimposition of a large number of individual
15 oscillations. These individual oscillations of the mass
system are initially independent of one another and can
each be regarded in an abstract form as "resonators".
At least two resonators are required for operation of a
vibration gyro: one of these resonators (first
20 resonator) is artificially stimulated to oscillate,
with these oscillations being referred to in the
following text as a "stimulation oscillation". The
other resonator (the second resonator) is stimulated to
oscillate only when the vibration gyro is
25 moved/rotated. Specifically, Coriolis forces occur in
this case which couple the first resonator to the
second resonator, draw energy from the stimulation
oscillation of the first resonator, and transfer this
energy to the read oscillation of the second resonator.
The oscillation of the second resonator is referred to
30 in the following text as the "read oscillation". In
order to determine movements (in particular rotations)
of the Coriolis gyro, the read oscillation is tapped
off and a corresponding read signal (for example the
tapped-off read oscillation signal) is investigated to
35 determine whether any changes have occurred in the
amplitude of the read oscillation which represent a
measure for the rotation of the Coriolis gyro. Coriolis
gyros may be in the form of both an open loop system
and a closed loop system. In a closed loop system, the
40 amplitude of the read oscillation is continuously reset

to a fixed value - preferably zero - via respective control loops.

In order to further illustrate the method of operation
5 of a Coriolis gyro, one example of a closed loop version of a Coriolis gyro will be described in the following text, with reference to Figure 2.

A Coriolis gyro 1 such as this has a mass system 2
10 which can be caused to oscillate and which is also referred to in the following text as a "resonator". This expression must be distinguished from the "abstract" resonators which have been mentioned above, which represent individual oscillations of the "real"
15 resonator. As already mentioned, the resonator 2 may be regarded as a system composed of two "resonators" (a first resonator 3 and a second resonator 4). Both the first and the second resonator 3, 4 are each coupled to a force transmitter (not shown) and to a tapping-off system (not shown). The noise which is produced by the force transmitter and the tapping-off systems is in this case indicated schematically by the noise 1 (reference symbol 5) and the noise 2 (reference symbol 6).

25

The Coriolis gyro 1 furthermore has four control loops:

A first control loop is used for controlling the stimulation oscillation (that is to say the frequency
30 of the first resonator 3) at a fixed frequency (resonant frequency). The first control loop has a first demodulator 7, a first low-pass filter 8, a frequency regulator 9, a VCO (voltage controlled oscillator) 10 and a first modulator 11.

35

A second control loop is used for controlling the stimulation oscillation at a constant amplitude and has a second demodulator 12, a second low-pass filter 13 and an amplitude regulator 14.

A third and a fourth control loop are used for resetting those forces which stimulate the read oscillation. In this case, the third control loop has a
5 third demodulator 15, a third low-pass filter 16, a quadrature regulator 17 and a second modulator 18. The fourth control loop contains a fourth demodulator 19, a fourth low-pass filter 20, a rotation rate regulator 21 and a third modulator 22.

10

The first resonator 3 is stimulated at its resonant frequency 1. The resultant stimulation oscillation is tapped off, is demodulated in phase by means of the first demodulator 7, and a demodulated signal component
15 is passed to the first low-pass filter 8, which removes the sum frequencies from it. The tapped-off signal is also referred to in the following text as the tapped-off stimulation oscillation signal. An output signal from the first low-pass filter 8 is applied to a
20 frequency regulator 9, which controls the VCO 10 as a function of the signal that is supplied to it such that the in-phase component essentially tends to zero. For this purpose, the VCO 10 passes a signal to the first modulator 11, which itself controls a force transmitter
25 such that the first resonator 3 has a stimulation force applied to it. If the in-phase component is zero, then the first resonator 3 oscillates at its resonant frequency 1. It should be mentioned that all of the modulators and demodulators are operated on the basis
30 of this resonant frequency 1.

The tapped-off stimulation oscillation signal is, furthermore, passed to the second control loop and is demodulated by the second demodulator 12, whose output
35 is passed through the second low-pass filter 13, whose output signal is in turn supplied to the amplitude regulator 14. The amplitude regulator 14 controls the first modulator 11 as a function of this signal and of a nominal amplitude transmitter 23 such that the first

resonator 3 oscillates at a constant amplitude (that is to say the stimulation oscillation has a constant amplitude).

5 As has already been mentioned, movement/rotation of the Coriolis gyro 1 results in Coriolis forces - indicated by the term $FC\cos(1 \cdot t)$ in the drawing - which couple the first resonator 3 to the second resonator 4, and thus cause the second resonator 4 to oscillate. A
10 resultant read oscillation at the frequency 2 is tapped off, so that a corresponding tapped-off read oscillation signal (read signal) is supplied both to the third control loop and to the fourth control loop. In the third control loop, this signal is demodulated
15 by means of the third demodulator 15, the sum frequencies are removed by the third low-pass filter 16, and the low-pass-filtered signal is supplied to the quadrature regulator 17, whose output signal is applied to the third modulator 22 such that corresponding
20 quadrature components of the read oscillation are reset. Analogously to this, the tapped-off read oscillation signal is demodulated in the fourth control loop by means of the fourth demodulator 19, passes through the fourth low-pass filter 20, and a
25 correspondingly low-pass-filtered signal is applied on the one hand to the rotation rate regulator 21, whose output signal is proportional to the instantaneous rotation rate, and which is passed as the rotation rate measurement result to a rotation rate output 24, and is applied on the other hand to the second modulator 18,
30 which resets corresponding rotation rate components of the read oscillation.

A Coriolis gyro 1 as described above may be operated
35 not only in a double-resonant form but also in a form in which it is not double-resonant. If the Coriolis gyro 1 is operated in a double-resonant form, then the frequency 2 of the read oscillation is approximately equal to the frequency 1 of the stimulation

oscillation while, in contrast, when it is operated in a form in which it is not double-resonant, the frequency 2 of the read oscillation differs from the frequency 1 of the stimulation oscillation. In the 5 case of double-resonance, the output signal from the fourth low-pass filter 20 contains corresponding information about the rotation rate, while, when it is not operated in a double-resonant form, on the other hand, it is the output signal from the third low-pass 10 filter 16. In order to switch between the different double-resonant/not double-resonant modes, a doubling switch 25 is provided, which connects the outputs of the third and fourth low-pass filters 16, 20 selectively to the rotation rate regulator 21 and to 15 the quadrature regulator 17.

When the Coriolis gyro 1 is intended to be operated in a double-resonant form, the frequency of the read oscillation must be tuned - as mentioned - to the 20 frequency of the stimulation oscillation. This may be achieved, for example, by mechanical means, in which material is removed from the mass system (to the resonator 2). As an alternative to this, the frequency 25 of the read oscillation can also be set by means of an electrical field, in which the resonator 2 is mounted such that it can oscillate, that is to say by changing the electrical field strength. It is thus possible to electronically tune the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation 30 oscillation during operation of the Coriolis gyro 1, as well.

The object on which the invention is based is to provide a method by means of which the frequency of the 35 read oscillation in a Coriolis gyro can be electronically tuned to the frequency of the stimulation oscillation.

This object is achieved by the method as claimed in the

features of patent claim 1. The invention furthermore provides a Coriolis gyro as claimed in patent claim 6. Advantageous refinements and developments of the idea of the invention can be found in the respective
5 dependent claims.

According to the invention, in the case of a method for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation in a Coriolis gyro, the resonator of the
10 Coriolis gyro has a disturbance force applied to it such that a) the stimulation oscillation remains essentially uninfluenced, and b) the read oscillation is changed such that a read signal which represents the
15 read oscillation contains a corresponding disturbance component, wherein the disturbance force is defined as that force which is caused by the signal noise in the read signal. The frequency of the read oscillation is in this case controlled such that the magnitude of the
20 disturbance component, that is to say the noise component, which is contained in the read signal is as small as possible.

The word "resonator" in this case means the entire mass system which can be caused to oscillate in the Coriolis gyro - that is to say that part of the Coriolis gyro
25 which is identified by the reference number 2. The essential feature in this case is that the disturbance forces on the resonator change only the read oscillation, but not the stimulation oscillation. With
30 reference to Figure 2, this would mean that the disturbance forces acted only on the second resonator 4, but not on the first resonator 3.

35 A significant discovery on which the invention is based is that a disturbance signal in the form of signal noise, which occurs directly in the tapped-off read oscillation signal or at the input of the control loops (rotation rate control loop/quadrature control loop)

can be observed to a greater extent in the tapped-off read oscillation signal after "passing through" the control loops and the resonator, the less the extent to which the frequency of the read oscillation matches the 5 frequency of the stimulation oscillation. The signal noise, which is the signal noise of the read oscillation tapping-off electronics or the random walk of the Coriolis gyro, is applied, after "passing through" the control loops, to the force transmitters 10 and thus produces corresponding disturbance forces, which are applied to the resonator and thus cause an artificial change in the read oscillation. The "penetration strength" of a disturbance such as this to the tapped-off read oscillation signal is thus a 15 measure of how accurately the frequency of the read oscillation is matched to the frequency of the stimulation oscillation. Thus, if the frequency of the read oscillation is controlled such that the penetration strength assumes a minimum, that is to say 20 the magnitude of the disturbance component which is contained in the tapped-off read oscillation signal, that is to say the noise component, is a minimum, then the frequency of the read oscillation is at the same time thus matched to the frequency of the stimulation 25 oscillation.

As already mentioned, the disturbance signal results from low-frequency rotation rate noise on the tapped-off read oscillation signal, and from the random 30 walk of the added-up rotation rate angle. The disturbance signal is thus not produced artificially, and already existing disturbance signals (noise from the read oscillation tapping-off electronics) are used instead. It can be shown that low-frequency rotation 35 rate noise/the random walk of the integrated angle in the case of Coriolis gyros which are operated with double resonance (that is to say when the frequencies of the stimulation oscillation and read oscillation match) is several orders of magnitude less than for

Coriolis gyros without double resonance. Detailed analysis shows that the reduction factor after a minimum time, which is dependent on the Q-factor of the read oscillation, is half of the value of the Q-factor of this oscillation.

It is advantageous that the disturbance is itself produced by the self-noise of the Coriolis gyro, that is to say no artificial disturbances/modulations are required. A further advantage is that the random walk of the Coriolis gyro can be measured at the same time during the frequency matching between the stimulation oscillation and read oscillation.

In this case, it is advantageous to observe the passage of the disturbance through the quadrature control loop since no low-frequency noise resulting from the variation of the rotation speed occurs in this control loop, in contrast to the rotation rate control loop. However, it has the disadvantage that, when using the quadrature control loop, the tuning process for the frequency of the stimulation oscillation to the frequency of the read oscillation takes a relatively long time. The disturbance component (noise component) is therefore preferably determined from a signal which is applied to a quadrature regulator in the quadrature control loop, or is emitted from it. Alternatively, the disturbance component can be determined from a signal which is applied to a rotation rate regulator in the rotation rate control loop, or is emitted from it.

The frequency of the read oscillation, that is to say the force transmission of the control forces which are required for frequency control, is in this case controlled by controlling the intensity of an electrical field in which a part of the resonator oscillates, with an electrical attraction force between the resonator and an opposing piece, which is fixed to

the frame and surrounds the resonator, preferably being non-linear.

5 The invention furthermore provides a Coriolis gyro which is characterized by a device for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation. The device for electronic tuning in this case has:

10 a noise detection unit which determines the noise component of a read signal which represents the read oscillation, and a control unit, which controls the frequency of the read oscillation such that the magnitude of the noise component which is contained in the read signal is as small as possible.

15

The noise detection unit preferably determines the noise component from a signal which is applied to a quadrature regulator in a quadrature control loop in the Coriolis gyro, or is emitted from it. A further alternative is to determine the noise component from a signal which is applied to a rotation rate regulator in a rotation rate control loop in the Coriolis gyro, or is emitted from it. In a further alternative, the noise detection unit determines the noise component from a tapped-off read oscillation signal which is produced by a read oscillation tap. The term "read signal" covers all signals which are referred to in this paragraph.

30 One exemplary embodiment of the invention will be explained in more detail in the following text with reference to the accompanying figures, in which:

35 **Figure 1** shows the schematic design of a Coriolis gyro which is based on the method according to the invention; and

Figure 2 shows the schematic design of a conventional Coriolis gyro.

First of all, one exemplary embodiment of the method according to the invention will be explained in more detail with reference to Figure 1. In this case, parts and/or devices which correspond to those in Figure 2
5 are identified by the same reference symbols, and will not be explained once again.

A Coriolis gyro 1' is additionally provided with a noise detection unit 26 and a read oscillation frequency regulator 27.
10

The signal noise (inherent noise) of the read oscillation tapping electronics (here indicated by the reference numeral 6) produces a disturbance signal in
15 the tapped-off read oscillation signal (read signal), which is supplied to the two control loops (quadrature control loop/rotation rate control loop). After passing through the control loops, the disturbance signal is applied to a second and third modulator 18, 22, whose
20 corresponding output signals are in each case applied to a force transmitter (not shown), and thus to the resonator 2. Provided that the frequency of the read oscillation does not essentially match the frequency of the stimulation oscillation, the disturbance signal is
25 observed, after "passing through" the resonator 2, in the form of a disturbance component of the tapped-off read oscillation signal. The disturbance signal (inherent noise) is now determined by the noise detection unit 26, in that the tapped-off read
30 oscillation signal or one of the signals which are applied to the quadrature regulator 17/rotation rate regulator 21, or are emitted from them (here: signal which is applied to the quadrature regulator 17) is tapped off and the noise component is extracted. The
35 disturbance component is therefore determined. An output signal from the noise detection unit 26 is supplied to the read oscillation frequency regulator 27 which sets the frequency of the read oscillation as a function of this, such that the output signal from the

noise detection unit 26, that is to say the strength of the observed disturbance component, is a minimum. When a minimum such as this has been reached, then the frequencies of the stimulation oscillation and of the
5 read oscillation essentially match.

In the case of a second alternative method for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation in a Coriolis gyro, a disturbance force is applied to the resonator of the Coriolis gyro in such a way that a) the stimulation oscillation remains essentially uninfluenced, and b) the read oscillation is changed such that a read signal which represents the
10 read oscillation contains a corresponding disturbance component, wherein the frequency of the read oscillation is controlled such that the magnitude of the disturbance component which is contained in the read signal is as small as possible.
15

20 A major discovery on which the second alternative method is based is that an artificial change to the read oscillation in the rotation rate channel or quadrature channel is visible to a greater extent, in
25 particular in the respective channel which is orthogonal to this, the less the extent to which the frequency of the read oscillation matches the frequency of the stimulation oscillation. The "penetration strength" of a disturbance such as this to the
30 tapped-off read oscillation signal (in particular to the orthogonal channel) is thus a measure of how accurately the frequency of the read oscillation is matched to the frequency of the stimulation oscillation. Thus, if the frequency of the read
35 oscillation is controlled such that the penetration strength assumes a minimum, that is to say such that the magnitude of the disturbance component which is contained in the tapped-off read oscillation signal is a minimum, then the frequency of the read oscillation

is thus at the same time essentially matched to the frequency of the stimulation oscillation.

In a third alternative method for electronic tuning of
5 the frequency of the read oscillation to the frequency
of the stimulation oscillation in a Coriolis gyro, the
resonator of the Coriolis gyro has a disturbance force
applied to it such that a) the stimulation oscillation
remains essentially uninfluenced and b) the read
10 oscillation is changed such that a read signal which
represents the read oscillation contains a
corresponding disturbance component, wherein the
frequency of the read oscillation is controlled such
that any phase shift between a disturbance signal,
15 which produces the disturbance force, and the
disturbance component which is contained in the read
signal is as small as possible.

In this case, the wording "resonator" means the entire
20 mass system (or a part of it) which can be caused to
oscillate in the Coriolis gyro - that is to say that
part of the Coriolis gyro which is annotated with the
reference number 2.

25 A significant discovery on which the third alternative
method is based is that the "time for disturbance to
pass through", that is to say an artificial change to
the read oscillation resulting from the application of
appropriate disturbance forces to the resonator, the
30 resonator, that is to say the time which passes from
the effect of the disturbance on the resonator until
the disturbance is tapped off as part of the read
signal, is dependent on the frequency of the read
oscillation. The shift between the phase of the
35 component signal which is contained in the read signal
and the phase of the disturbance component signal which
is contained in the read signal is thus a measure of
the frequency of the read oscillation. It can be shown
that the phase shift assumes a minimum when the

frequency of the read oscillation essentially matches the frequency of the stimulation oscillation. If the frequency of the read oscillation is thus controlled such that the phase shift assumes a minimum, then the
5 frequency of the read oscillation is thus at the same time essentially matched to the frequency of the stimulation oscillation.

The method according to the invention which was described first for electronic tuning of the read oscillation frequency can be combined as required with the second alternative method and/or with the third alternative method. For example, it is possible to use the second alternative method while the Coriolis gyro
15 is being started up (rapid transient response), and then to use the method described first (slow control process) in steady-state operation. Specific technical refinements as well as further details relating to the methods can be found by those skilled in the art in the patent applications "Verfahren zur elektronischen Abstimmung der Ausleseschwingungsfrequenz eines Corioliskreisels", [Method for electronic tuning of the read oscillation frequency of a Coriolis gyro], LTF-190-DE and LTF-191-DE from the same applicant, in
20 which, respectively, the second alternative method and the third alternative method are described. The entire contents of the patent applications LTF-190-DE/
25 LTF-191-DE are thus hereby included in the description.

Patent Claims

1. A method for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation in a resetting Coriolis gyro (1'), wherein

5 - the resonator (2) of the Coriolis gyro (1') has a disturbance force applied to it such that

a) the stimulation oscillation remains essentially 10 uninfluenced, and

b) the read oscillation is changed such that a read signal which represents the read oscillation contains a corresponding disturbance component, wherein

- the disturbance force is defined as that force 15 which is caused by the signal noise in the read signal, and

- the frequency of the read oscillation is controlled such that the magnitude of the disturbance component which is contained in the read signal is as 20 small as possible.

2. The method as claimed in claim 1, **characterized in that** the signal noise is the noise of the tapping electronics.

25

3. The method as claimed in claim 1 or 2, **characterized in that** the disturbance component is determined from a signal which is applied to a quadrature regulator (17) in the quadrature control 30 loop, or is emitted from it.

4. The method as claimed in claim 1 or 2, **characterized in that** the disturbance component is determined from a signal which is applied to a rotation 35 rate regulator (21) in the rotation rate control loop, or is emitted from it.

5. The method as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** the frequency of the read

oscillation is controlled by controlling the intensity of an electrical field in which a part of the resonator (2) of the Coriolis gyro (1') oscillates.

5 6. A Coriolis gyro (1'), **characterized by** a device for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation, having:

- 10 - a noise detection unit (26) which determines the noise component of a read signal which represents the read oscillation, and
- 15 - a control unit (27), which controls the frequency of the read oscillation such that the magnitude of the noise component which is contained in the read signal is as small as possible.

20 7. The Coriolis gyro (1') as claimed in claim 6, **characterized in that** the noise detection unit (26) determines the noise component from a signal which is applied to a rotation rate regulator (21) in a rotation rate control loop in the Coriolis gyro (1'), or is emitted from it.

25 8. The Coriolis gyro (1') as claimed in claim 6, **characterized in that** the noise detection unit (26) determines the noise component from a signal which is applied to a quadrature regulator (21) in a quadrature control loop in the Coriolis gyro (1'), or is emitted from it.

Abstract

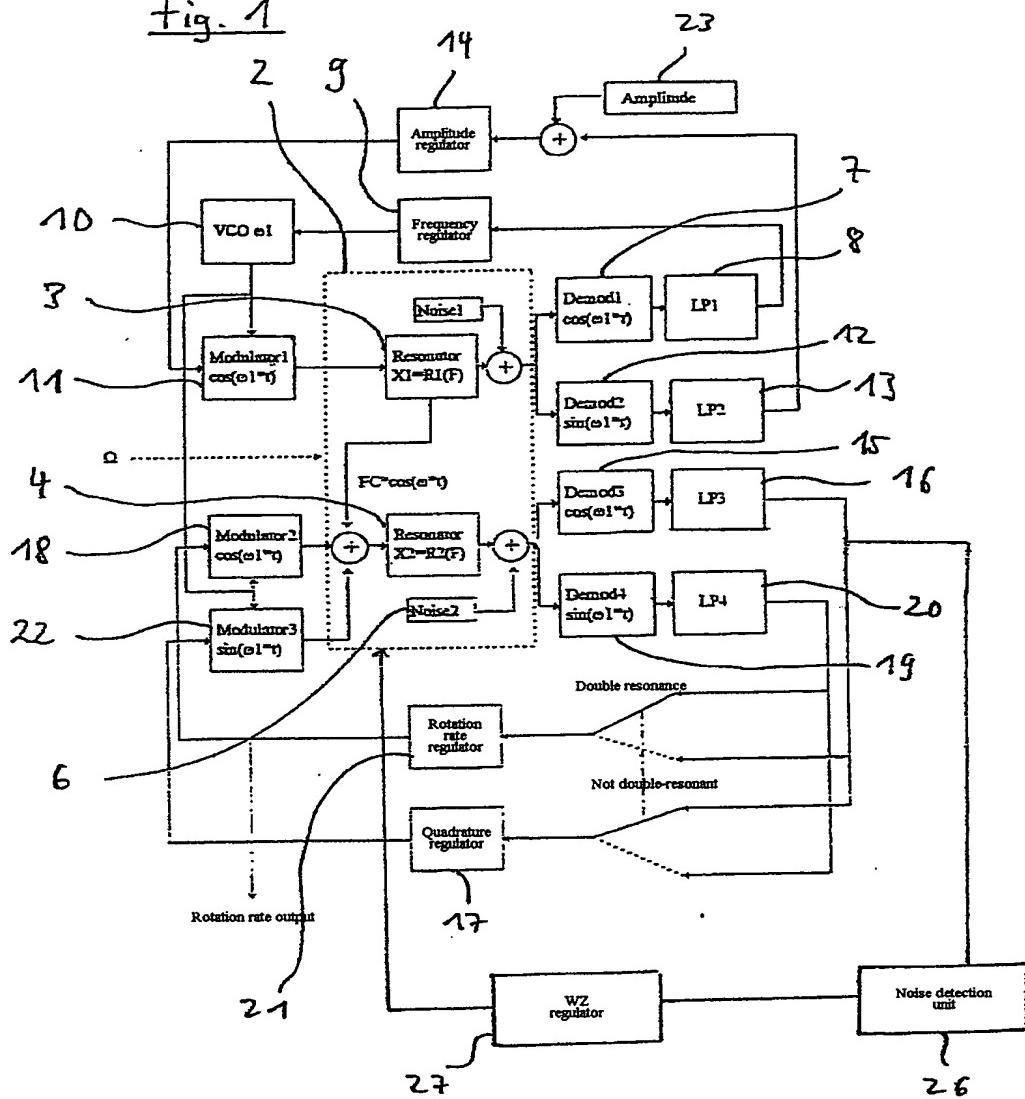
Method for electronic tuning of the read oscillation frequency of a Coriolis gyro

In a method for electronic tuning of the frequency of the read oscillation to the frequency of the stimulation oscillation in a Coriolis gyro (1') according to the invention, the resonator (2) of the Coriolis gyro (1') has a disturbance force applied to it such that the stimulation oscillation remains essentially uninfluenced, with the read oscillation being changed such that a read signal which represents the read oscillation contains a corresponding disturbance component. The disturbance force is in this case defined as that force which is caused by the signal noise in the read signal. The frequency of the read oscillation is controlled such that the strength of the disturbance component which is contained in the read signal is a minimum.

(Figure 1)

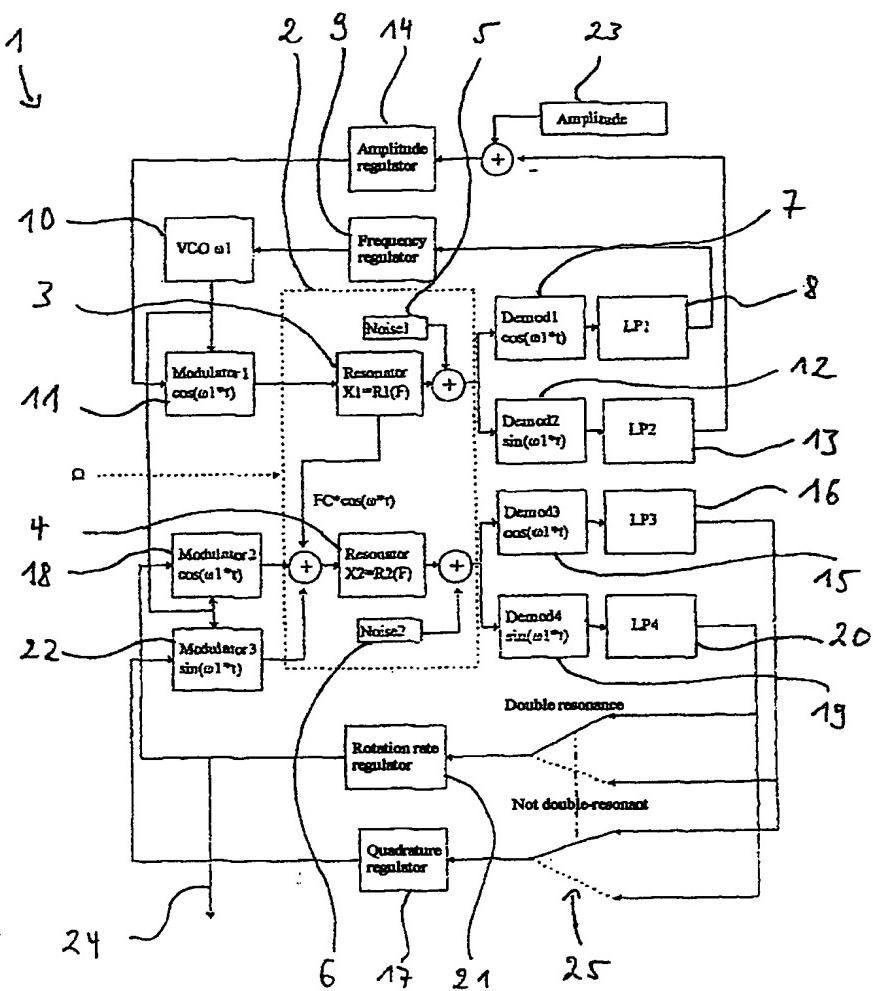
1/2

Fig. 1



2/2

Fig. 2



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.